

ESTUDO COMPARATIVO DE TRÊS TÉCNICAS DE REFORÇO À FLEXÃO COM CFRP

FORTES, Adriano Silva (1); Barros, Joaquim Antònio O. de (2); PADARATZ, Ivo José (3)

(1) Doutorando em Engenharia Civil pela UFSC - Universidade do Minho - PT, Professor do CEFET-BA, R. Emídio Santos s/n CEP 40300-010, Salvador-BA, BR, fortes@civil.uminho.pt
email:

(2) Dr., Professor do Departamento de Engenharia Civil da Universidade do Minho - Campus de Azurém – CEP 4800-058 Guimarães, Portugal, barros@civil.uminho.pt

(3) PhD, Professor do Departamento de Engenharia Civil da UFSC, Campus Universitário – Trindade – Cx. Postal, 476, CEP 88.040-900 Florianópolis-SC, Brasil, padaratz@ecv.ufsc.brDr.

Palavras Chaves: Reforço, fibra de carbono, CFRP.

Resumo

A técnica de reforço de estruturas de concreto utilizando-se materiais compósitos a base de fibras de carbono embebidas em resinas epoxídicas (*Carbon Fiber Reinforced Polymer – CFRP*) tem sido cada vez mais utilizada, principalmente em substituição a tradicional colagem de chapas metálicas sobre a superfície do concreto.

O reforço de estruturas de concreto utilizando-se CFRP deu-se, inicialmente, por meio das técnicas de colagem de mantas, tecidos ou laminados sobre a superfície do concreto. No entanto, este procedimento requer cuidados adicionais quanto à resistência ao fogo, atos de vândalos, ataque de raios ultra-violeta, modo de ruptura (efeito *peeling*) entre outros aspectos.

No intuito de melhorar a eficácia do sistema de reforço com CFRP, tem-se estudado uma nova técnica que consiste na aplicação de faixas de laminados em entalhes executados na região do cobrimento dos elementos de concreto.

Realizou-se um estudo experimental em 24 (vinte e quatro) vigas submetidas à flexão, para avaliar o desempenho de peças reforçadas segundo as três técnicas: colagem de mantas ou tecidos sobre a superfície da peça de concreto, colagem de laminado também sobre a superfície do concreto e inserção de faixas de laminados em entalhes realizados no concreto de cobrimento

Os resultados experimentais são apresentados e discutidos, fazendo-se comparações, sempre que possível, com resultados dos Códigos vigentes, possibilitando avaliar a melhor técnica de reforço com CFRP.

1 Introdução

Devido ao envelhecimento das estruturas de concreto armado e modificações substanciais nas solicitações, devido a modificações de utilização da edificação e alterações climáticas do planeta, surgiu a necessidade de intervir nas estruturas com objetivo de recuperá-las ou reforça-las para restabelecer as condições de resistência e utilização.

O emprego de materiais compósitos no reforço de estruturas de concreto vem crescendo consideravelmente, principalmente na última década. A utilização de do compósito de fibras de carbono em matriz epoxídica (*CFRP – carbon fiber reinforced polymeri – polímero reforçado com fibras de carbono*) tem sido o material preferido. Essa preferência pelo CFRP e o seu crescimento de utilização se deve principalmente às excelentes características e propriedades mecânicas do material, entre elas o baixo peso específico, a elevada resistência à tração e a boa resistência a intempéries. A redução do custo do material também foi um fator estimulador do crescimento de aplicação de CFRP. Juvandes (1999), demonstra que com o aumento da utilização do produto nas últimas duas décadas, sua produção aumentou em cerca de dez vezes e, aproximadamente nessa mesma proporção, reduziu-se seu custo.

A publicação de vários trabalhos referentes ao reforço de peças de concreto por meio da aplicação de laminados e mantas de fibras de carbono colados em sua superfície, conforme CEB-FIP (2001), também motivou o crescimento de aplicação do material.

Apesar das vantagens dos materiais constituintes e das técnicas de reforço pela utilização de materiais compósitos, comparados com outras, ainda existem questões a serem melhoradas, entre elas o mecanismo de rotura, efeito peeling, que evita a mobilização da capacidade resistente do material.

No sentido de melhorar alguns aspectos importantes relacionados ao reforço com materiais compósitos à base de fibras de carbono tem-se estudado exaustivamente, na Universidade do Minho, uma nova técnica de reforço por meio de colagem de laminados de fibras de carbono em entalhes realizados no concreto de cobertura, Fortes et. al (2002).

Conforme Fortes et. al (2002), a nova técnica apresenta algumas vantagens em relação à tradicional colagem de laminados ou mantas sobre a superfície do concreto, entre elas:

- Maior resistência à ocorrência do fenômeno de *peeling*, dada a existência de dupla área de colagem do laminado e de este se encontrar confinado;
- Maior protecção ao fogo e aos actos de vandalismo;
- Redução da quantidade de *CFRP* empregue;
- Redução da superfície de betão a tratar, com consequente redução do tempo de execução do sistema de reforço;
- Garantia da qualidade da superfície de betão onde o laminado será aplicado, devido ao corte ser executado com equipamento mecânico.

Apesar desta nova técnica ter-se revelado promissora, sendo citada na publicação do grupo de trabalho 9.3 do CEB-FIP (2001), poucos trabalhos foram publicados sobre o tema e praticamente não existem modelos matemáticos que representem com precisão o comportamento das peças reforçadas. Barros e Fortes (2002) demonstram que é possível analisar o comportamento das peças reforçadas utilizando-se o Método dos Elementos

Finitos, obtendo-se resultados bastante satisfatório comparados com resultados experimentais.

Com intuito de acrescentar conhecimentos para um melhor entendimento das técnicas de reforço com CFRP, neste trabalho apresenta-se um estudo experimental comparativo entre as técnicas de colagem de laminado e de mantas sobre a superfície do concreto do elemento a reforçar e de colagem do laminado em entalhes realizados no concreto de cobrimento, fundamental para caracterizar a técnica mais eficaz. Foram realizados ensaios, a quatro pontos, em 24 vigas de concreto armado, distribuídas em três séries, a depender da quantidade de armadura longitudinal de tração. Cada série foi composta por pares de vigas de referência, simplesmente armada, e de vigas reforçadas segundo as três técnicas de reforço com CFRP. Os resultados são apresentados e analisados e considerações são apresentadas com intuito de facilitar a decisão de optar-se por uma das três técnicas de reforço.

2 Características dos Materiais Empregados

2.1 Concreto

Para moldar as vigas foi solicitado um concreto da classe C30/37 a uma Central de Dosagem de Concreto, empresa com sede na cidade de Braga - PT. Este concreto teve a seguinte composição (Tabela 1):

Tabela 1 – Composição do concreto.

Componentes	Quantidade (kg/m ³)
Areia fina (1.31 - 2.65 mm)	145
Areia média (2.70 - 5.29 mm)	576
Brita 1 (14.84 - 16.83 mm)	667
Brita 2 (22.62 - 25.00 mm)	366
Cimento 42.5 R	325
Adição 1: Cinza volante	60
Água	190
Adição 2: Superplastificante	3,24

Durante a concretagem das vigas foram moldados 15 corpos de prova cilíndricos de 150 mm de diâmetro por 300 mm de altura que depois de ensaiados à compressão uniaxial apresentaram aos 28 dias a resistência média à compressão de 44.2 MPa, com um desvio padrão de 0.40 MPa e um coeficiente de variação de 0.16 % (resultado de 3 corpos de prova). As vigas sem reforço, designadas de vigas de referência, foram ensaiadas aos 28 dias de idade e as vigas reforçadas entre 64 e 70 dias de idade, estando o concreto com resistência média à compressão de 52.2 MPa, com um desvio padrão de 1.37 MPa e um coeficiente de variação de 1.89 % (resultado de 12 corpos de prova).

Série S1	V11 e V12 	VLI11 e VLI12 	VLC11 e VLC12 	VM11 e VM12
Série S2	V21 e V22 	VLI21 e VLI22 	VLC21 e VLC22 	VM21 e VM22
Série S3	V31 e V32 	VLI31 e VLI32 	VLC31 e VLC32 	VM31 e VM32

Disposição das armaduras

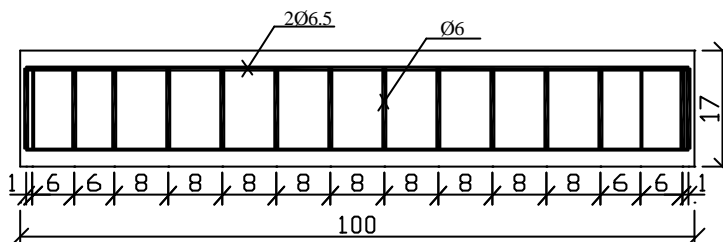


Figura 1 – Seções transversais e disposições das armaduras das vigas ensaiadas.

2.2 Armaduras Convencionais

A armadura convencional longitudinal das vigas era constituída por barras de 5mm e 6.5mm de diâmetro, sendo de 6mm o diâmetro dos estribos (ver Figura 1). Dos ensaios de tração uniaxial constatou-se que as barras de 5mm e 6.5mm apresentaram um comportamento linear-elástico até aproximadamente 620MPa ($\phi 5$) e 480MPa ($\phi 6.5$), respectivamente, seguido de comportamento com grandes deformações plásticas (ver Figura 2). O diagrama s_s - ϵ_s das barras de $\phi 6$ mm encontra-se representado em Barros e Fortes (2002).

2.3 Laminado e manta de CFRP

Segundo Cruz e Barros (2002) as faixas de laminado utilizadas no presente trabalho têm secção transversal de 9.59 ± 0.09 mm de largura por 1.45 ± 0.005 mm de espessura, 158.8 ± 2.6 GPa (c.v. 1.6 %) de valor médio de módulo de Young, 2739.5 ± 85.7 MPa (c.v. 3.1 %) de valor médio de resistência à tração e 17.0 ± 0.4 % (2.4 %) de extensão última. Segundo o fabricante, o módulo de Young, a resistência à tração e a extensão última da manta de CFRP é de 240 GPa, 3700 MPa e 15,4 %, respectivamente, sendo de 0.111 mm a sua espessura. Na Figura 2 a relação s_f - ϵ_f destes compósitos é representada.

Conforme informações do fabricante a manta de CFRP utilizado no reforço das vigas possui valor médio do módulo de Young, de resistência a tração e de extensão última é de 240 GPa, 3700 MPa e 1.54 %, respectivamente.

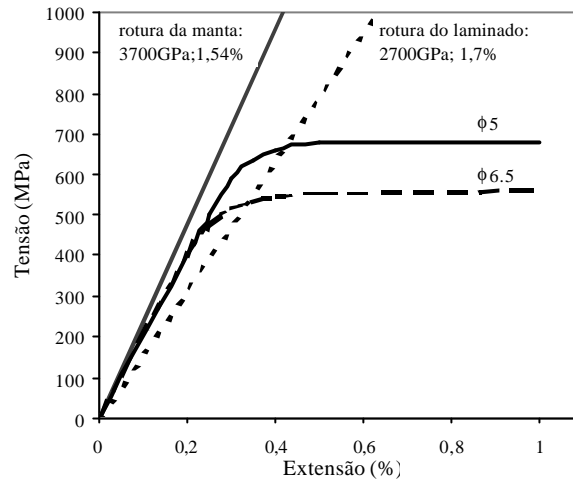


Figura 2 - Diagramas s-e dos materiais de reforço utilizados.

2.4 Adesivo Epoxídico

Ensaio de tração uniaxial sobre provetes do adesivo epoxídico utilizado para fixar os laminados de CFRP ao betão revelaram que este material tem um comportamento marcadamente não linear, com uma tensão de ruptura que varia entre os 16 e os 22 MPa, sendo de aproximadamente 5 GPa o seu módulo de elasticidade, conforme Cruz et. al. (2001).

3 Geometria e Disposição dos Sistemas de Reforço

Todas as vigas ensaiadas possuíam a mesma seção geométrica de concreto, com 120mm de base, 170mm de altura e 1000mm de comprimento, sendo 900mm entre apoios. As vigas foram distribuídas em três séries de oito exemplares, tendo cada série diferente percentagem de armadura longitudinal, (ver Figura 1).

A área de CFRP utilizada em cada técnica de reforço foi dimensionada de forma a ser constante o fator $(A_f E_f)/(A_s E_s)$, em que A_f e A_s são as áreas da seção transversal dos CFRP e da armadura convencional, e E_f e E_s são o módulo de Young dos CFRP e das armaduras convencionais. Neste dimensionamento não foi considerado o diferente braço interno dos CFRP das três técnicas de reforço, dado se ter admitido que a sua influência não seria significativa para o objetivo do trabalho. Na Tabela 2 indicam-se os valores de A_f/A_s de forma a que, em seções seguintes, seja possível avaliar o seu efeito nos resultados obtidos nos ensaios das vigas.

Os estribos foram dimensionados para evitar a ruptura por corte. Em cada série foram utilizados os três sistemas de reforço em análise: laminados e mantas de CFRP colados na superfície do concreto e laminados de CFRP inseridos em entalhes efetuados no concreto de cobrimento. Cada técnica de reforço foi aplicada em duas vigas, sendo utilizadas também duas vigas, de cada série, como modelo de referência, dispondo apenas de armadura convencional igual à das vigas reforçadas com CFRP das correspondentes séries.

As vigas de referência são referenciadas pela sigla VWZ em que W designa o número da série (1, 2 ou 3) e Z o número da viga em cada sub-série (1 ou 2).

As vigas reforçadas com CFRP são referenciadas pela sigla VXYZWZ em que X assumirá as letras *L* ou *M* para designar vigas reforçadas com Laminados ou Manta, respectivamente, e Y a letra *I* ou *C* para indicar que se trata de laminado Inserido em entalhes ou Colado exteriormente. W e Z têm o significado anteriormente descrito.

Tabela 2 - Designação das vigas e correspondente quantidade relativa de reforço utilizado.

Vigas da Série S1	$\frac{A_f}{A_s} (\%)^{(1)}$	Vigas da Série S2	$\frac{A_f}{A_s} (\%)^{(1)}$	Vigas da Série S3	$\frac{A_f}{A_s} (\%)^{(1)}$
V11	-	V21	-	V31	-
V12	-	V22	-	V32	-
VLI11	35.4	VLI21	41.9	VLI31	41.9
VLI12	35.4	VLI22	41.9	VLI32	41.9
VLC11	35.4	VLC21	41.9	VLC31	41.9
VLC12	35.4	VLC22	41.9	VLC32	41.9
VM11	22.6	VM21	31.4	VM31	31.4
VM12	22.6	VM22	31.4	VM32	31.4

⁽¹⁾ A_f – área da seção transversal de CFRP, A_s – área da seção transversal da armadura longitudinal

4 Técnicas de Reforço

Nas técnicas de reforço por aplicação de laminado e de manta de CFRP colados exteriormente à superfície do concreto seguiram-se os procedimentos já devidamente documentados Juvandes (1999) e Dias (2001). Os procedimentos adotados na técnica de reforço por colagem de laminados em entalhes efetuados no concreto de cobrimento envolvem essencialmente quatro tarefas: i) Preparo do substrato de concreto (execução de entalhe no concreto de cobrimento com 3 a 4 mm de espessura por cerca de 12 mm de profundidade), ii) preparo dos materiais constituintes (cortes e limpeza dos laminados e mistura do adesivo epoxídico); iii) aplicação do reforço (distribuição do adesivo nas superfícies dos laminados e no entalhe, disposição do laminado no entalhe e distribuição do adesivo), iv) controle de qualidade em todas as fases anteriores e após o endurecimento do adesivo.



Figura 3 – Fases da execução do reforço por colagem de laminados em entalhes realizados no concreto de cobertura.

5 Procedimentos de Ensaio

Os ensaios foram realizados sob controlo de deslocamento à velocidade de 0.02 milímetros por segundo até ser alcançada a rotura da viga. A deformação da viga foi medida por intermédio dos deslocamentos lidos em cinco *LVDTs*, conforme mostra a Figura 4. As características dos transdutores de deslocamentos, da célula de carga e do sistema de reação são descritas em Fortes et. al (2002).

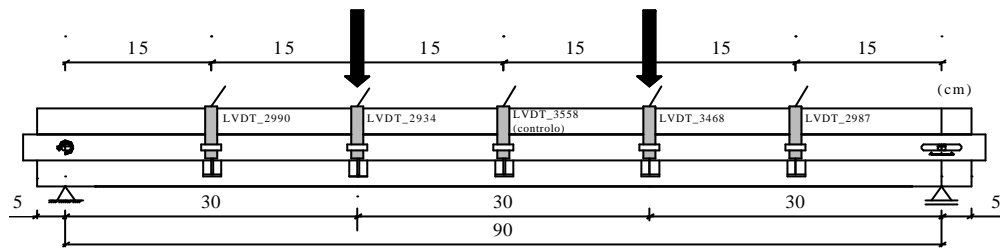


Figura 4 - Disposição dos LVDTs e do carregamento.

6 Apresentação e Análise de Resultados

6.1 Modos e Mecanismos de Rotura

Vigas de referência: Estas vigas (V11, V12, V21, V22, V31, V32) apresentaram ruptura dúctil com escoamento da armadura longitudinal. Para elevado nível de deformação plástica do aço o betão do banzo comprimido apresentou rotura por esmagamento, sem ter ocorrido rotura da viga por corte. Na Figura 5 inclui-se uma foto que ilustra o típico modo de ruptura ocorrido neste tipo de vigas.

Vigas reforçadas por inserção de laminados de CFRP no concreto de cobertura: A ruína de todas as vigas reforçadas segundo esta técnica (VLI11, VLI12, VLI21, VLI22, VLI31, VLI32) deu-se por rompimento do concreto do banzo tracionado, ao longo de aproximadamente metade da viga, tendo-se sempre iniciado pela extremidade do reforço (ver Figura 6). A camada de concreto destacada chegou a alcançar 60mm de espessura (cerca de 35% da altura da viga), tendo a armadura longitudinal ficado exposta. Na viga VLI11 foi observada a ruptura inter-laminar do laminado (ver Figura 7).

Vigas reforçadas por colagem externa de laminados de CFRP: A ruptura destas vigas (VLC11, VLC12, VLC21, VLC22, VLC31, VLC32) deu-se por descolamento do laminado de CFRP a partir das suas extremidades, sem ter ocorrido destacamento de camada de concreto de cobertura. Apenas a viga VLC32 apresentou ruptura da região de cobertura das armaduras, com cerca de 25 mm de espessura. Na Figura 8 incluem-se fotos relativas aos típicos modos de ruptura ocorrido neste tipo de vigas.

Vigas reforçadas por colagem externa de manta de CFRP: Estas vigas (VM11, VM12, VM21, VM22, VM31, VM32) apresentaram dois modos de ruptura. Nas vigas com uma e duas camadas de manta (ver Figura 1) a ruptura deu-se por rompimento da manta, na região central, nas proximidades da aplicação da carga. Nas vigas com três camadas de manta a ruptura deu-se por destacamento de uma camada de concreto de cobertura com cerca de 25mm de espessura, tendo-se a ruptura iniciada pela extremidade do reforço. Na Figura 9 incluem-se fotos que ilustram os típicos modos de ruptura ocorridos nesta série de vigas.



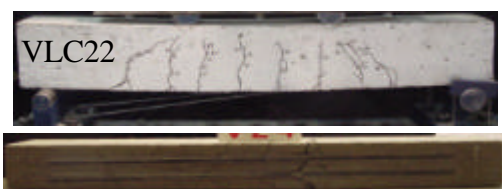
Figura 5 - Ruptura típica das vigas de referência.



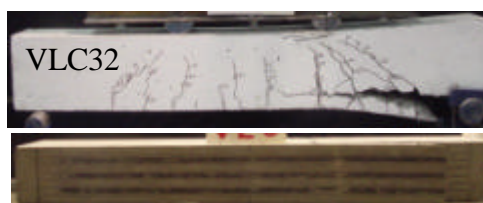
Figura 6 - Ruptura típica das vigas VLI.



Figura 7 - Delaminação do laminado da viga VLI11.

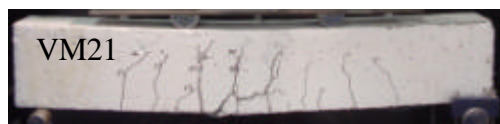


(a)

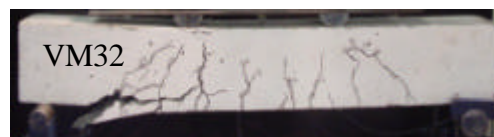


(b)

Figura 8 - Modos de ruptura típicos das vigas VLC: descolamento (a), destacamento de camada de recobrimento de betão (b).



(a)



(b)

Figura 9 - Modos de ruptura típicos das vigas VM: ruptura da manta (a), destacamento da camada de cobrimento do concreto (b).

6.2 Relações Carga vs. Flecha e Cargas de Ruptura e de Serviço

Na Figura 10 representam-se as relações carga-flecha registradas nas três séries de vigas ensaiadas. Constata-se que em todas as séries a eficácia de reforço foi mais elevada nas vigas reforçadas com laminados inseridos. No entanto, esta eficácia diminuiu da série S1 para a série S3, e com o aumento da percentagem de armadura convencional (ver Figura 1).

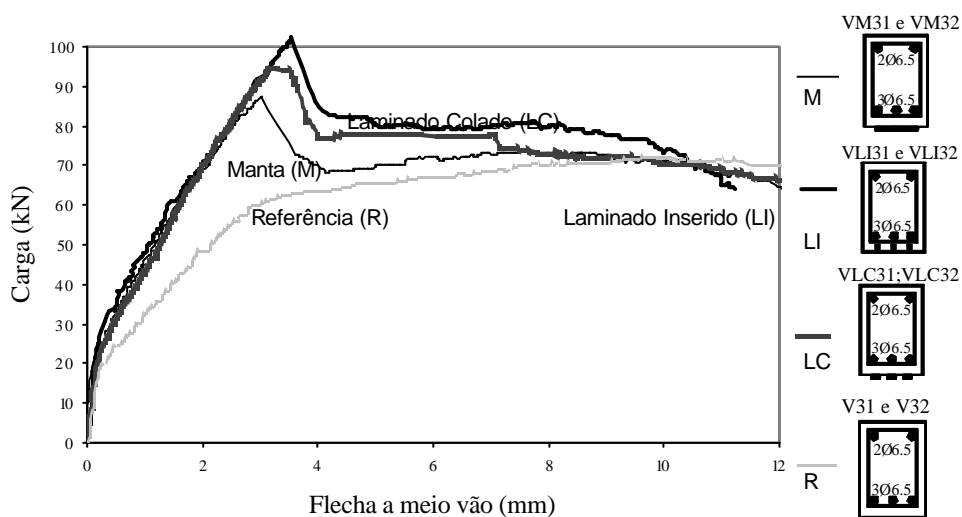
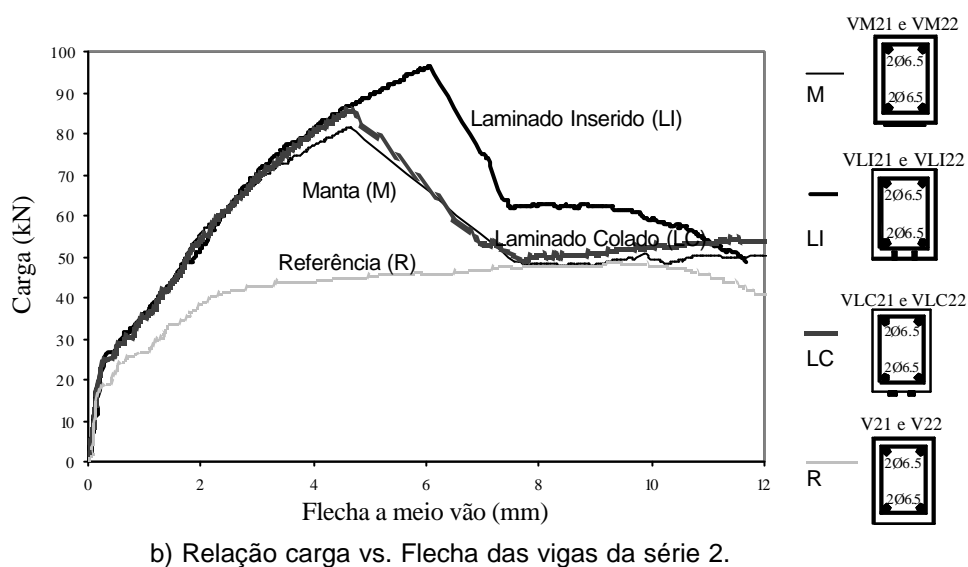
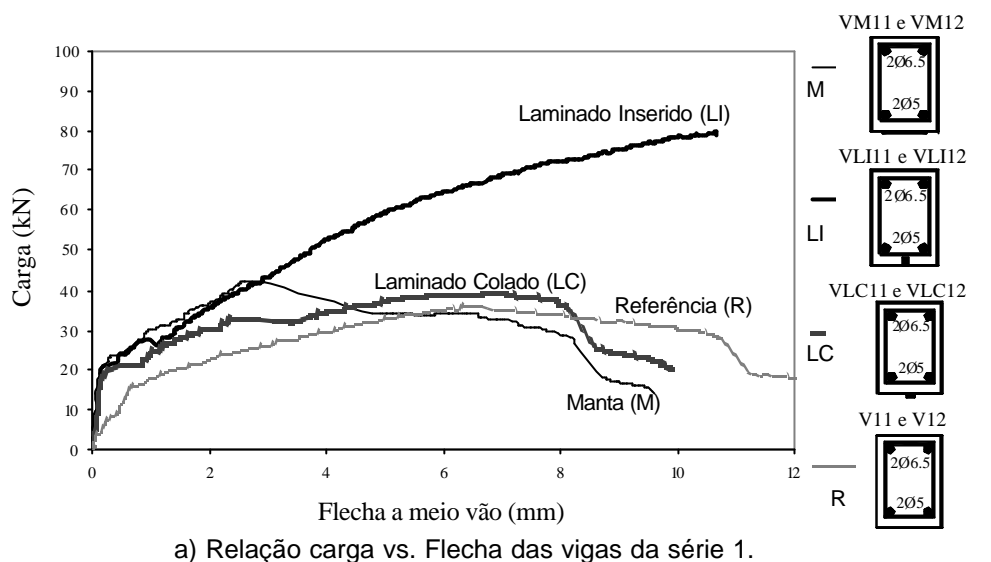


Figura 10 – Relação média de Carga vs. Flechas das vigas ensaiadas.

As cargas médias de ruptura (\bar{P}_u) registradas nas vigas ensaiadas estão indicados na Tabela 3. Nesta Tabela $\bar{P}_u(VR)$ e $\bar{P}_u(V)$ representam o valor médio da carga de ruptura da vigas reforçadas por meio de laminados colados em entalhes realizados no concreto de cobrimento (VLI), de laminados colados na superfície do concreto (VLC), de mantas coladas na superfície do concreto (VM) e das correspondentes vigas de referência (V).

Tabela 3 - Cargas de ruptura obtidas experimentalmente nas vigas ensaiadas.

Série S1			Série S2			Série S3		
Ref.	\bar{P}_u	$\frac{\bar{P}_u(VR) - \bar{P}_u(V)}{\bar{P}_u(V)} [\%]$	Ref.	\bar{P}_u	$\frac{\bar{P}_u(VR) - \bar{P}_u(V)}{\bar{P}_u(V)} [\%]$	Ref.	\bar{P}_u	$\frac{\bar{P}_u(VR) - \bar{P}_u(V)}{\bar{P}_u(V)} [\%]$
viga	[kN]		viga	[kN]		viga	[kN]	
V	36.6	-	V	48.5	-	V	71.8	-
VLI	79.9	124	VLI	93.3	92	VLI	96.6	35
VLC	38.6	8	VLC	83.5	72	VLC	86.5	20
VM	43.0	21	VM	79.5	64	VM	87.3	22

Verificou-se que em todas as séries a técnica de reforço baseada na inserção de laminados em entalhes realizados no concreto de cobrimento conduziu a cargas de ruptura mais elevadas que as demais vigas. Na série S1 os laminados inseridos mais do que duplicaram a carga de ruptura das vigas de referência, enquanto o laminado e a manta colada conseguiram apenas aumentar esta carga em 8 e 21%, respectivamente. Na série S2 os laminados inseridos quase que duplicaram a carga última das vigas de referência, enquanto os laminados e a manta colada (duas camadas) incrementaram a carga de ruptura em 72 e 64%. Finalmente, na série S3 as três técnicas de reforço permitiram um aumento de carga de ruptura de 35, 20 e 22% (ver Tabela 2). Constata-se que dois fatores estão atuando na eficácia dos sistemas: a quantidade de armadura longitudinal de tração e a quantidade de reforço empregado, ambos inversamente proporcionais à eficácia dos sistemas.

Na Tabela 4 apresenta-se o valor médio da carga de serviço (\bar{P}_s) para cada série de vigas, tendo-se admitido para carga de serviço a força correspondente a $L/400$, em correspondência com as recomendações do REBAPE, sendo L o vão da viga. Nesta tabela também se inclui o acréscimo de carga de serviço proporcionado por cada técnica de reforço. Constata-se que em termos gerais a técnica de reforço constituída por colagem externa de manta é a que induziu maiores acréscimos de carga de serviço, devido ao maior módulo de elasticidade deste compósito, quando comparado com o dos laminados de CFRP. No entanto, esse incremento diminui com o aumento da percentagem de armadura convencional. Nos laminados colados o incremento foi praticamente insensível à percentagem de armadura convencional, enquanto na técnica que recorre à inserção dos laminados, excetuando o caso da série S1, nas restantes séries esta técnica conduziu ao menor incremento de carga de serviço, devido ao menor braço interno. Em termos de incremento de carga de serviço esta técnica é bastante sensível à percentagem de armadura convencional, dado que foi de 70% para $A_f/A_s=35.4$ (1ª série) e igual a 29% para $A_f/A_s=41.9$ (2ª e 3ª séries).

Tabela 4: Cargas de serviço obtidas experimentalmente nas vigas ensaiadas.

Série S1			Série S2			Série S3		
Ref.	\bar{P}_s	$\frac{\bar{P}_s(VR) - \bar{P}_s(V)}{\bar{P}_s(V)} [\%]$	Ref.	\bar{P}_s	$\frac{\bar{P}_s(VR) - \bar{P}_s(V)}{\bar{P}_s(V)} [\%]$	Ref.	\bar{P}_s	$\frac{\bar{P}_s(VR) - \bar{P}_s(V)}{\bar{P}_s(V)} [\%]$
viga	[kN]		viga	[kN]		viga	[kN]	
V	22.1	-	V	40.5	-	V	51.5	-
VLI	37.5	70	VLI	56.3	39	VLI	71.5	39
VLC	31.9	44	VLC	57.6	42	VLC	74.1	44
VM	40.3	82	VM	59.5	47	VM	73.4	43

7 Conclusões

As vigas de referência (não reforçadas com CFRP) apresentaram ruptura dúctil com escoamento da armadura convencional. Nas vigas reforçadas com laminados inseridos no concreto de cobrimento ocorreu a ruptura de uma camada de concreto, enquanto em quase todas as vigas reforçadas por colagem externa de laminados de CFRP ocorreu o destacamento destes. Nas vigas reforçadas por colagem externa com uma e duas camadas de manta de CFRP ocorreu à ruptura destas, enquanto que nas vigas reforçadas com três camadas surgiu o destacamento de uma camada do concreto de cobrimento.

Em todas as séries ensaiadas a eficácia de reforço foi mais elevada nas vigas reforçadas com laminados inseridos, mas essa eficácia diminui com o aumento da percentagem de armadura convencional e com o aumento do número de laminados inseridos.

Em termos de carga de serviço verificou-se que a técnica de reforço constituída por colagem externa de manta foi a que conduziu a maiores aumentos, mas esse aumento diminui com o incremento da percentagem de armadura convencional.

8 Agradecimentos

O 1º Autor agradece o acolhimento prestado pelo Departamento Engenharia Civil da Universidade do Minho e a colaboração dos técnicos do Laboratório de Estruturas da UM, assim como a bolsa concedida pela Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – CAPES, Brasil. Os autores manifestam os seus agradecimentos às empresas que gentilmente forneceram os materiais usados neste estudo experimental, à Unibetão (Central de Braga-PT), à Bettor MBT Portugal e à Secil.

9 Referências

CEB-FIP - **Externally bonded FRP reinforcement for RC structures. Technical report on the Design and use of externally bonded fibre reinforced polymer reinforcement (FRP EBR) for reinforced concrete structures**, prepared by a working party of the Task Group 9.3 FRP (Fibre Reinforced Polymer) reinforcement for concrete structures, 2001, 130 p.

Blaschko M., Zilch K., - **Rehabilitation of Concrete Structures with CFRP Strips Glued into Slits** 12th International Conference on Composite Materials, Paris, 1999.

Barros, J.A.O., Ferreira, D.R.S.M., Lourenço, P.J.B. – **Comportamento de pilares de betão armado reforçados com laminados de fibras de carbono**, *Encontro Nacional de Betão Estrutural 2000*, Porto, 22-24 Novembro 2000, pp. 393-402.

Fortes, A.S., Barros, J.A.O. **Reforço à flexão de vigas de betão armado por intermédio da inserção de laminados de CFRP no betão de recobrimento**, Congresso Nacional da Engenharia de Estruturas, a realizar-se no LNEC, Lisboa, pp. 401-410, de 10 a 13 de Julho de 2002.

Fortes, A.S., Barros, J.A.O., Padaratz, I.J. - **Vigas de Betão Armado Reforçadas com Laminados de CFRP Inseridos no Betão**. Relatório 02-DEC/E-13, Departamento de Engenharia Civil da Universidade do Minho, 2002, 32 p.

Barros, J.A.O., Fortes, A.S. - **Concrete beams reinforced with carbon laminates bonded into slits**, *5^o Congreso de Métodos Numéricos en Ingeniería*, Madrid, 3-6 Junio 2002.

Cruz, J.M.S., Barros, J.A.O. - **Caracterização experimental da ligação de laminados de CFRP inseridos no betão de recobrimento**. Relatório 02-DEC/E-15, Departamento de Engenharia Civil da Universidade do Minho, 2002.

Cruz, J.M.S., Barros, J.A.O., Faria, R.M.C.M. - **Assessing the embedded length of epoxy-bonded carbon laminates by pull-out bending tests**, *International Conference Composites in Construction CCC2001*, 10-12 October 2001, pp. 217-222.

Juvandes, L.F.P. - **Reforço e Reabilitação de Estruturas de Betão Armado usando Materiais Compósitos de “CFRP”**. Tese de Doutoramento, Dep. Eng^a Civil, FEUP, 1999.

Dias, S.J.E. - **Verificação experimental do reforço com CFRP de estruturas de betão à flexão**. Tese de Mestrado, Dep. Eng^a Civil, FEUP, 2001.